EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU ET DE L'AZOTE CHEZ LE BLÉ DUR : ÉTUDE COMPARATIVE DE DEUX VARIÉTÉS À HAUT POTENTIEL DE PRODUCTION

H. Boussen*, E. Mellek-Maalej, N. Z. Asr* and N. Ben Mechlia*****
* INRAT, Tunisie.
** Faculté des Sciences de Bizerte, Tunisie.
*** INAT, 43 avenue Charles Nicolle, 2083 Tunis, Tunisia.
E-mail: Netij.Benmechlia@iresa.agrinet.tn

RESUME *– Un des défis de l'agriculture durable est le développement de pratiques culturales simples et moins polluantes. La présente étude explore les possibilités d'optimiser l'utilisation de l'eau, de l'azote et de la variété en céréaliculture. Les performances de deux variétés de blé dur à haut rendement Khiar et Maali soumises à deux niveaux d'azote 150N et 110N ont été évaluées en pluvial pendant l'année agricole 2003-2004 à la station de Oued Mliz. Parallèlement un essai similaire avec en plus un traitement hydrique consistant à maintenir l'humidité du sol au dessus de niveaux seuils de réserves utiles de 0.7 et 0.4 a été conduit en pots à Tunis. Les résultats montrent des différences importantes entre les variétés et les stades végétatifs concernant la teneur de la matière sèche en azote, sucres solubles et chlorophylle. La teneur en azote total semble suivre l'augmentation de la fertilisation en début de culture, alors que les autres paramètres de la plante ont été peu affectés par celle-ci. Les résultats de plein champ montrent que pour 150N et 110N l' indice de récolte passe pour Khiar de 0.38 à 0.33 et Maali de 0.37 à 0.32. Les rendements ne sont pas cependant affectés. Ils sont respectivement pour Khiar (4.44 et 4.55 t/ha) et Maali (4.09 et 4.04 t/ha). Ce travail démontre la nécessité de traiter les questions de productivité agricole d'une manière intégrant les facteurs génétiques, l'eau et l'azote.*

MOTS CLÉS*: Blé dur, rendement, fertilisation azotée, humidité du sol*

ABSTRACT – One of the challenges of sustainable agriculture is the development of simplified and less polluting cultural practices. This study investigates possibilities of optimising the use of water, nitrogen and the variety in cereal cultivation. The performance of two highly productive varieties Khiar and Maali subjected to two nitrogen levels 150N and 110 were assessed under rainfed conditions in Oued Mliz station. Similarly another experiment including water treatments, consisting in maintaining the soil moisture above thresholds of 0.7 and 0.4 available water, was carried out in vegetation pots in Tunis. Obtained data show important differences between varieties and development stages concerning dry matter contents of nitrogen, soluble sugars and chlorophyll. Total nitrogen content seems to be increased by higher fertilisation at the early stages of growth, whereas the other physiological parameters were slightly affected. Field results show that for 150N and 110 N, the harvest index was significantly reduced for Khiar from 0.38 to0.33 and Maali from 0.37 to 0.32. Yields are not however affected. They are respectively for Khiar 4.44 and 4.55 t/ha, and Maali 4.09 and 4.04 t/ha. This work shows the need to consider genetic factors, water and nitrogen supplies in an integrated manner when dealing with issues of agricultural productivity.

KEYWORDS: Durum wheat, yield, nitrogen fertiliser, soil moisture

INTRODUCTION

Les céréales ont une large aire d'adaptation géographique ; elles contribuent largement à la sécurité alimentaire des populations. Elles sont représentées principalement par le blé, l'orge, le riz, le mais, le mil, le triticale, le seigle et l'avoine.

Le blé est l'espèce la plus cultivée à travers le monde (Elias, 1995). Il occupe la première place pour ce qui est de la production mondiale et la deuxième, après le riz, comme source de nourriture pour la population humaine (Bajji 1999). La culture du blé dur dans le monde est concentrée dans le Centre Est Asiatique, l'Afrique du Nord, l'Amérique du Nord, l'Inde et l'Europe méditerranéenne (Elias, 1995).

En Tunisie le blé représente la principale culture vivrière et l'une des principales sources de protéines végétales (Ben Salem, 1995). Ainsi pour la compagne 1999-2000 les superficies emblavées en blé dur en Tunisie étaient de l'ordre de 761000 ha contre 482000ha pour l'orge, 129000ha pour le blé tendre et 2500ha pour le triticale ; soit respectivement 55%, 35%, 9% et 1% de la surface totale (Bahrini, 2003). Malgré les efforts entrepris en matière d'amélioration génétique des céréales, les rendements restent très fluctuants et tributaires de plusieurs facteurs, essentiellement les précipitations et l'alimentation azotée.

L'accroissement des rendements par l'irrigation de complément et par la succession d'apports d'engrais a été démontré. Cependant de telles pratiques, si elles sont mal conduites, peuvent avoir des effets négatifs sur l'environnement, comme l'accumulation progressive des sels aux niveaux des couches superficielles du sol et la concentration de nitrates dans les ressources en eau. Une bonne gestion des grandes emblavures de blé nécessite une optimisation des principaux facteurs de production qui sont la variété, l'eau et l'azote.

En Tunisie, l'application de la fertilisation azotée varie d'une année à une autre. A cause de l'irrégularité des pluies, la fertilisation azotée devient très délicate; la limitation dans la disponibilité de l'un peut influencer l'utilisation de l'autre. L'efficience de l'utilisation de l'azote est généralement positivement corrélée avec l'efficience de l'utilisation de l'eau**.** Le problème c'est que d'une part la compétitivité sur les plans productivité et qualité ne peut être assurée que par la nutrition azotée et d'autre part le mauvais impact de la fertilisation azotée sur l'environnement doit être limité. La question est d'autant plus pertinente qu'il faut à chaque fois tenir compte des capacités intrinsèques des variétés à valoriser les apports en eau et en azote.

La maîtrise de la fertilisation est délicate car elle doit s'adapter aux conditions particulières de la nature du sol de la parcelle concernée, aux conditions climatiques, au type de culture et aux techniques agricoles utilisées…Pour cela une compréhension de l'absorption de l'azote, son interaction avec les niveaux d'irrigation et son assimilation sont nécessaires pour toute tentative d'améliorer l'utilisation de l'azote par les plantes (Van Deld, 2001; Gastall et Lemaire, 2002). Pour atteindre cet objectif les caractéristiques biochimiques et les modèles de simulation doivent être bien utilisés et combinés afin améliorer l'application de la fertilisation azotée pour obtenir le maximum de rendement et diminuer la pollution (Lowlor, 2002).

Actuellement, comme l'a bien indiqué Jeffroy et al. (2002), l'agriculture doit s'adapter aux nouvelles conditions et répondre aux nouveaux défis en s'intéressant plus à la fertilisation azotée. La présente étude s'inscrit dans ce cadre. Elle a pour objectif de produire l'information nécessaire à une bonne compréhension des effets d'une restriction de l'eau et de la fertilisation azotée sur le blé dur (*Triticum durum* Desf). Précisément elle concerne la réponse de deux variétés Khiar et Maali à une réduction de l'azote, lorsque la dose passe du niveau habituellement recommandé 150U à 110U, apportée en trois fraction.

Pour ce faire, une expérimentation en plein champ et un travail d'appui mené en pots ont été conduits pendant l'année agricole 2003-2004. L'expérimentation menée en pots a servi pour déterminer l'évolution de certains paramètres physiologiques lorsque la diminution de la dose d'azote est accompagnée d'une réduction du niveau hydrique.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal

Le travail a porté sur deux variétés tunisiennes de blé dur (Triticum durum Desf) :

- *Khiar :*est une variété de blé dur, caractérisée par une paille mûre blanche, creuse à paroi mince, hauteur moyenne de 80 cm, barbe noirâtre, grain ambré clair, court et étroit. L'épi de cette variété est fertile, donc très efficace du point de vue de l'utilisation de l'eau. Elle est résistante aux maladies cryptogamiques, à la verse et elle est productive en terre fertile (Maamouri et al. 1988).
- *1-2-Maali :* est une nouvelle obtention de l'INRAT. Candidate à l'inscription, elle doit son nom à feu Maamouri Ali, ancien chercheur au laboratoire de Génétique des Céréales de l'INRAT.

Conduite de la culture

Les essais sont conduits sous deux niveaux de fertilisation azotée, 150U et110U d'azote, apportée sous forme d'ammonitrate 33.5% fractionnée comme suit : ¼ au stade trois feuilles, ½ au stade plein tallage et ¼ au stade gonflement.

Plein champ : l'essai a été installé à la station expérimentale de l'INRAT de Oued Mliz, gouvernorat de Jendouba, sur une parcelle de 5400 m², divisée en 36 parcelles élémentaires de 90m^2 . Celles-ci sont réparties en trois blocs comportant chacun trois répétitions par variété et par traitement. Le protocole expérimental prévoyait en fait deux traitements hydriques en plus du pluvial. Mais comme les précipitations étaient abondantes l'ensemble du travail a été conduit en pluvial avec un grand nombre de répétitions. Le sol présente une texture argileuse avec pH =8.2, matière organique =2.2% et azote total de 0.14%.

Essai semi contrôlé a été conduit dans la cage anti moineaux située à l'INRAT. Les pots sont installés sur des chariots coulissant sur deux rails parallèles permettant l'exposition au soleil des plantes en conditions climatiques favorables et de les abriter en cas de pluie. 4 répétitions représentent les deux niveaux de la réserve utile en eau du sol (RU) de 70% et de 40% RU, ainsi que les deux doses d'azote. La fertilisation azotée est la même que celle de l'essai en plein champ. Le sol présente les caractéristique suivantes (argile21%, limon fin 48% limon grossier 6%, sable fin 13%, sable grossier 10%, et matière organique 1.4%).

Paramètres étudiés

L'évaluation des paramètres biochimiques et morphologiques a été effectuée, au cours de différents stades de développement, aussi bien sur la culture en station que sur la culture en pots, selon les régimes hydriques et azotés imposés aux plantes. La production de matière sèche totale, le rendement et les composantes de rendement n'ont concerné que l'expérimentation de plein champ.

Dosages biochimiques

Les dosages sont réalisés 7 jours après l'apport azoté en trois répétitions par traitement.

L'azote total est dosé, par la méthode de Kjeldhal modifiée ; titration par de l'acide chlorhydrique 0.01N.

Les sucres solubles sont dosés au niveau des feuilles par la méthode phénol-acide sulfurique (Dubois et al. 1956) : 1 ml de phénol à 5% et 5 ml d'acide sulfurique sont mélangés à 1 ml de l'extrait. Les valeurs de la DO (470 nm) sont portées sur la courbe d'étalonnage.

La chlorophylle est dosée par la méthode d'Arnon (1949) modifiée permettant de déterminer la quantité de chlorophylle a et b et le calcul de la teneur en chlorophylle totale. La DO est mesurée aux longueurs d'onde 645 et 663 nm, correspondant, respectivement, aux absorbances des chlorophylles a et b. La détermination de la teneur en chlorophylle a, b et totale est réalisée selon les formules d'Arnon (1949).

Paramètres morphologiques

Les composantes de la croissance sont déterminées juste trois semaines après la floraison en mesurant le nombre de talles épiées par plante et la longueur de l'épi.

Les poids secs ont été déterminés sur 0,50 m linéaire x 2 lignes juxtaposées pour l'essai en plein champ à Oued Mliz.

Les composantes de rendement

Sont mesurées en plein champ à la station de Oued Mliz. Pour le nombre de grains par épi et le poids des grains par épi, six échantillons par parcelle élémentaire, par variété et par traitement sur chacun des trois blocs ont été prélevés, soit 54 répétitions. Alors que pour l'indice de récolte et le rendement en grain, trois échantillons par parcelles, par bloc et par variété ont été prélevés, soit 9 répétitions par variété et par traitement.

Traitement statistique des résultats

Il est réalisé grâce au logiciel STATITCF (Beaux et al.1991). L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de la variance à deux facteurs, par le test de Fisher-Snedecor au seuil 5%. Elle est complétée par des comparaisons multiples des moyennes par le test de Newman et Keuls, selon Steel Robert G.D. (1980) et Dagnélie (1986).

RESULTATS ET DISCUSSION

Variation de la teneur en azote total

En plein champ, la variété Maali présente des teneurs en azote total statistiquement plus élevées (7,50%MS) que celles de la variété Khiar (6,02%MS). Cette dernière, contrairement à la variété Maali, n'accumule pas plus d'azote total sous une forte fertilisation. C'est plutôt le contraire qui a été observé au stade 3 feuilles. La variété Khiar réagit moins à la fertilisation azotée au début de son développement (Tab.1). Les moyennes obtenues aux stades jeunes plants (7,16%MS) sont significativement plus élevées que celles aux stades plus avancés (6, 35%MS). La forte fertilisation donne un taux d'azote (7,11%MS) statistiquement supérieur à celui de la faible fertilisation (6,41%MS).

Tableau 1. Variation de la teneur en azote total (%) en plein champ, en fonction des variétés, des doses d'azote et des stades de développement.

	Trois feuil.				plein tall.			
	Maali		Khiar		Maali		Khiar	
N110	6,99	b	6,32	b	6,12	b	6,21	b
N150	10,01	a	5,32	c	6,87	b	6,21	b

En pots, les résultats de l'analyse statistique relative à l'accumulation de l'azote total, au niveau de la plante entière, ont montré une différence significative entre les différents facteurs, à savoir les stades de développement, les variétés, les apports d'azote et les niveaux d'irrigation (Tab.2).

La teneur en azote total diminue au fur et à mesure que les stades avancent ; ainsi d'une teneur de 3.01%MS significativement plus importante au stade trois feuilles, elle baisse à 1.29% MS en plein tallage alors qu'au stade gonflement elle n'est plus que de 0.99%MS.

La variété Khiar accumule plus d'azote total que la variété Maali. Sans tenir compte des autres facteurs, la moyenne de la teneur en azote total chez la variété Khiar (2.14%MS) est significativement plus importante que celle de la variété Maali (1.39%MS).

L'analyse statistique révèle que la variation hydrique a entraîné une faible variation au niveau de la teneur en azote total. Tous facteurs confondus, les plantes maintenues à 40% de la RU semble accumuler plus d'azote total (1.82%) que celles maintenues à 70% de la RU (1.71%).

L'accumulation la plus élevée est obtenue avec l'apport azoté le plus élevé puisqu'on a une teneur en azote total égale à 1.90% MS pour la dose 150U alors que cette teneur n'est que de 1.63%MS pour la dose 110U.

Tableau 2: Variation de la moyenne de la teneur en azote total (%MS) en fonction des niveaux hydriques, des niveaux azotés, des variétés et des stades de développement**.** ppas : 0.02, α : 5%.

Stades de dev.		Trois feuille				Tallage				Gonflement			
variétés		Maali		Khiar		Maali		Khiar		Maali		Khiar	
Niveau d'azote		N110	N150	N110	N150	N110	N150	N110	N150	N110	N150	N110	N150
Niveaux irrigation	0.7RU	1.73 h	2.95 e	3.23 d	4.13 a	0.96 r	1.23 n	1.22 n	1.57 k	0.47 u	0.49 t	1.59 j	0.97 r
	0.4RU	2.22 g	2.66 f	3.52 c	3.61 b	1.00 q	1.21 n	1.48 l	1.66 i	0.69 s	1.10 p	1.45 m	1.19 o

Variation de la teneur en sucres solubles

L'analyse statistique, relative aux teneurs en sucres solubles en plein champ, révèle une réduction significative du taux d'accumulation en passant du stade trois feuilles à plein tallage (Tab.3). La variété Khiar accuse la plus grande diminution puisque sa teneur est réduite de moitié au stade plein tallage. Il y a également une différence significative entre les variétés ; Maali accumulant significativement moins de sucres solubles que la variété Khiar au début de son développement. Alors que les deux fertilisations azotées donnent des teneurs en sucres solubles presque égales, 3,38mg/gMS pour la dose 110U et 3,67mg/gMS pour la dose 150U.

Tableau 3. Variation de la teneur en sucres solubles (mg/gMS) en plein champ en fonction des stades, des variétés et des apports azotés.

	Trois feuil.				Plein Tall.			
	Maali		Khiar		Maali		Khiar	
N110	3,06	b	4,58	a	3,51	b	2,37	c
N150	2,69	c	5,84	a	3,37	b	2,77	c

Contrairement à l'essai plein champ, le semi-contrôlé montre qu'il y a une augmentation significatives pour l'accumulation des sucres solubles au niveau des feuilles avec l'évolution des stades de développement. Les moyennes passent de 3.21 mg/g MS au stade trois feuilles, à 4.88 mg/gMS au stade plein tallage pour atteindre 8.33 mg/gMS au stade gonflement.

Les différents apports azotés ne génèrent pas de variations significatives, la moyenne étant de 5.58 mg/gMS pour la dose de 150U alors qu'elle est de 5.37 mg/gMS pour la dose de 110U d'azote. Cependant Il faut noter, que la faible dose d'azote apportée (110U) donne la teneur en sucres solubles la plus élevée (8.73mg/gMS) au stade gonflement alors que la teneur la plus faible (2.79mg/gMS) est obtenue au stade tallage avec l'apport azoté le plus élevé (150U).

Les niveaux d'irrigation ne montrent pas de différences significatives non plus, les moyennes obtenues sont de 5.51 mg/g MS pour les plants maintenus à 70% de la RU et de 5.44 mg/gMS pour ceux maintenus à 40% de la RU.

Les moyennes de la teneur en sucre soluble en fonction des variétés, indépendamment des autres facteurs, ne montrent pas de différence significative entre les deux variétés, avec une légère supériorité pour la variété Khiar (5.74mg/gMS) sur la variété Maali (5.21mg/gMS). La teneur la plus élevée est rencontrée chez la variété Maali au stade gonflement. Alors qu'aux stades trois feuilles et plein tallage les teneurs les plus élevées sont rencontrées chez la variété Khiar. Cette dernière exploiterait mal la forte fertilisation en accumulant la plus faible teneur de sucres solubles pendant le stade gonflement, soit 6.89mg/gMS. D'une façon générale la variété Khiar accumule plus de sucres solubles dans le cas d'une limitation de l'irrigation (5.90mg/gMS contre 4.96mg/gMS pour la variété Maali), ou d'une limitation de la fertilisation azotée (6.05mg/gMS contre 5.09 mg/g MS pour la variété Maali). En fin, au stade gonflement, la teneur en sucres solubles chez Khiar est supérieure à celle de la variété Maali en condition de limitation hydrique et azotée puisqu'elles accumulent respectivement 10.04 et 9.27 mg/gMS dans ces conditions.

Pour la variété Maali, il y a une compensation entre les niveaux d'irrigation et les fertilisations azotées notamment au premier stade où la combinaison de la dose d'azote 110U avec 70% de la RU, et celle de la dose 150U avec 40% de la RU donnent les teneurs les plus élevées en sucres solubles (Tab.4). Alors que la variété Khiar donne avec la faible fertilisation azotée (110U) une teneur en sucre soluble deux fois plus élevée que celle de la forte dose (150U) au stade tallage pour les deux niveaux d'irrigation.

Au stade gonflement, les teneurs en sucres solubles les plus élevées sont obtenues avec la dose de fertilisation la plus faible (110U) et le niveau d'irrigation le plus élevé (70% de la RU) et ceci pour les deux variétés.

Tableau 4. Variation de la moyenne de la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles (mg/gMS) en fonction des stades de développement, des variétés, des niveaux d'irrigation et des apports azotés

Stades de développement		Trois feuille				Plein tallage				Gonflement			
variétés		Maali		Khiar		Maali		Khiar		Maali		Khiar	
Niveau d'azote		N110	N150	N110	N150	N110	N150	N110	N150	N110	N150	N110	N150
Niveau D'irrigation	0.7 RU	3.26 l	2.79 k	4.63 h	2.42 n	3.84 k	5.58 g	4.43 i	4.96 h	9.27 b	7.97 d	10.04 a	6.89 f
	0.4 RU	2.21 n	3.21 l	4.40 j	2.74 m	3.74 k	4.05 j	5.71 g	6.95 f	8.51 c	8.32 c	7.12 e	8.53 c

ppas : 0.02 α : 5%

Teneur en chlorophylle totale

La teneur en chlorophylle diminue pour les plants en plein champ presque de moitié en passant du stade trois feuille au stade plein tallage (de 43,46 à 25,04µg/cm^2). Les deux variétés et les deux fertilisations azotées n'aboutissent pas à des différences significatives quant aux taux enregistrés. Néanmoins, on remarque une amélioration des teneurs en chlorophylle suite à une augmentation de la dose d'azote, notamment au stade plein tallage (Tab.5).

Tableau 5. Variation de la teneur en chlorophylle totale (ug/cm²) en plein champ chez les deux variétés en fonction des apports azotés.

	Trois feuil.		Plein Tall.	
	Maali	Khiar	Maali	Khiar
N110	45,05 a	44,63 a	25,30 b	22,26 b
N150	42,52 a	41,63 a	27,10 b	25,49 b

L'évolution de la teneur en chlorophylle présente une évolution inversée pour la culture en pots (Tab.6) en fonction des stades de développement. La teneur enregistrée pour le stade gonflement, étant de 48.56 ug/cm², est significativement supérieure à celle du stade plein tallage (44.35 ug/cm²).

La teneur en chlorophylle totale de la variété Khiar de 47.41 ug/cm², n'est pas significativement différente de celle de la variété Maali, 45.50 ug/cm².

De même, les niveaux de fertilisations n'aboutissent pas à des différences significatives bien que la plus faible dose d'azote, 110U, produit une teneur en chlorophylle totale de 47.11 ug/cm² contre 45.81 ug/cm² pour la dose 150U.

Le niveau d'irrigation 70% de la RU donne une teneur en chlorophylle totale, de 47.14 ug/cm², supérieure à celle de 40% qui est de 45.78 ug/cm², mais la différence n'étant toujours pas significative.

Tableau 6. Variation de la moyenne de la teneur en chlorophylle totale (ug/cm²) en fonction des stades de développement, des variétés,des niveaux d'irrigation et des apports azotés. ppas : 0.01, α : 5%.

Stades de développement		Plein Tallage				Gonflement			
variétés		Maali		Khiar		Maali		Khiar	
Niveau d'azote		N110	N150	N110	N150	N110	N150	N110	N150
Niveau D'irrigation	0.7 RU	46.27 e	47.29 d	44.66 f	47.32 d	52.44 b	41.21 g	53.55 a	44.35 f
	0.4 RU	37.18 h	46.01 e	44.96 f	41.12 g	47.14 d	46.46 e	50.65 c	52.70 b

Nous pouvons toutefois noter qu'au stade gonflement aussi bien pour la variété Khiar que pour la variété Maali, la teneur en chlorophylle totale la plus élevée est obtenue sous une irrigation à 70% RU et un niveau d'azote de 110U.

Paramètres morphologiques

Nombre de talles fertiles

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les deux variétés pour le nombre de talles, plus élevé pour les deux apports azotés chez la variété Khiar (5,52talles) que chez la variété Maali (4,30talles). L'augmentation de la dose d'azote de 110U à 150U produit une légère baisse du nombre de talles chez la variété Maali, alors qu'on enregistre le cas contraire chez la variété Khiar (Tab.7), ce pendant, il n'y a pas de différence significative entre les deux apports azotés pour les deux variétés.

Tableau 7 . Nombre de talles par plant en plein champ en fonction des deux apports azotés.

	Maali		Khiar	
N110	4,33	b	5,38	a
N150	4,27	b	5,66	a

Hauteur des plants

L'analyse statistique nous permet de constater que la variété Maali a une paille beaucoup plus haute que celle de la variété Khiar, la moyenne des hauteurs des plants chez la variété Maali, de 109,9 cm, est significativement plus élevée que celle de la variété Khiar, seulement de 99,3cm. Chez la variété Maali la dose 150U provoque une réduction significative de la taille des plants par rapport à l'apport 110U. Par contre l'augmentation de la fertilisation azotée produit une augmentation significative de la taille des plantes chez la variété Khiar (Tab.8)

Tableau 8. Hauteur des plants en plein champ en fonction des deux apports azotés

	Maali		Khiar	
N110	111,1	a	96,9	d
N150	108,7	b	101,6	c

Longueur des épis

L'analyse statistique nous permet de conclure que la variété Maali a des épis plus longs que la variété Khiar puisque leurs moyennes respectives de 17,4cm et 15,6cm sont significativement différentes, et ce quelque soit le traitement appliqué. L'augmentation de la fertilisation azotée semble améliorer la longueur des épis, ce pendant, il n'y a pas de différence entre les deux apports azotés pour les deux variétés.

Tableau 9. Longueur des épis en plein champ en fonction des deux apports azotés

	Maali		Khiar	
N110	17,0	a	15,2	b
N150	17,9	a	15,9	b

Les composantes de rendement

Nombre et poids des grains par épi

La variété Khiar produit un nombre de grains par épi beaucoup plus élevé que la variété Maali ; la différence est hautement significative entre les deux variétés. Les épis de Maali ne contiennent que la moitié de ceux de la variété Khiar (Tab.10). Les traitements azotés ne provoquent pas de modifications du nombre de grains par épi. Par contre les moyennes des poids des grains par épi ne présentent pas de différence significative vis-à-vis des variétés et des fertilisations azotées.

Tableau 10. Nombre et Poids (g) des grains par épi

	Nbre G/E				Poids G/E			
	Maali		Khiar		Maali		Khiar	
N110	24,9	b	56,5	a	6,3	a	6,3	a
N150	27,4	b	50,7	a	6,0	a	6,5	a

Le poids de mille grains

La variété Maali a des grains significativement plus gros, puisque le poids de mille grains est hautement supérieur à celui de la variété Khiar. Statistiquement l'azote n'a pas affecté ce paramètre. Cependant, il faut noter que la fertilisation modérée a donné des grains plus gros puisque pour les deux variétés la dose 110U produit des poids de mille grains supérieurs à ceux produits par la dose 150U d'azote.

Tableau 11 . Poids de mille grains (g)

	Maali		Khiar		Moyenne
N110	68,1	a	41,4	b	54,8
N150	65,6	a	38,5	b	52,1

Rendement en grains

Prélevé sur une surface de 24m^2/parcelle la mesure du rendement en grains est à la fois précis et proche du rendement /ha réalisé concrètement.

L'analyse statistique du poids des grains ainsi récoltés montre qu'il y a une différence significative entre les variétés. Khiar étant plus productive que la variété Maali pour les deux traitements. La forte dose d'azote n'améliore pas le rendement.

Tableau 12. Rendement en grains (g/m^2)

	Maali		Khiar	
N110	409.4	b	444.9	a
N150	404.8	b	455.7	a

Indice de récolte

L'indice de récolte correspond au rapport du poids des grains à celui des grains et de la paille (PG/PG+PP). Plus cet indice est élevé plus la récolte est meilleure en grains.

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les fertilisations azotées ; l'indice de récolte est supérieur dans le cas d'une forte dose et ceci pour les deux variétés étudiées qui par ailleurs ne montrent pas de différence significative à ce niveau.

Tableau 13. Indice de récolte

	Maali		Khiar	
N110	0,325	b	0,337	b
N150	0,378	a	0,382	a

CONCLUSION

Il faut reconnaître qu'il est difficile de synchroniser l'apport azoté avec les demandes du végétal comme l'ont signalé Pang et Letey (2000). C'est la vitesse de croissance de la plante et la rapidité de prélèvement qui déterminent l'efficience de l'engrais azotée en évitant les mécanismes concurrents que sont l'immobilisation, la volatilisation, la dénitrification et le lessivage. Dans ce contexte, nos résultats ne permettent de dégager qu'un nombre limité d'observations qu'il va falloir confirmer:

Pendant l'installation de la culture, les plantes présentent taux d'azote (%MS) élevés. Les différences entre variétés sont cependant. A l'inverse des observations faites en plein champ la

variété Khiar présente, en pots, des teneurs en azote total statistiquement plus élevées que celles de la variété Maali.

L'accumulation des sucres solubles au niveau des feuilles change significativement avec les stades de développement. Alors que les différents apports azotés et les niveaux hydriques ne génèrent pas de variations significatives. On note une légère supériorité pour la variété Khiar sur la variété Maali.

La teneur en chlorophylle change aussi significativement avec les stades. Comme pour les sucres solubles, les facteurs: variétés, doses d'azote et niveaux d'irrigation ne produisent pas de différences significatives entre les teneurs enregistrées.

En plein champ, le nombre de talles est plus élevé pour les deux apports azotés chez la variété Khiar que chez la variété Maali qui a des épis plus longs, une paille beaucoup plus haute et une matière sèche statistiquement plus élevée. En condition de limitation de la fertilisation azotée, les deux variétés ne réduisent pas cependant leur rendement final, elles arrivent même à produire un peu plus de matière sèche.

La variété Khiar produit un nombre de grains par épi plus élevé que la variété Maali. Par contre cette dernière a des grains significativement plus gros. En définitive, les moyennes des poids des grains par épi sont les mêmes. Les rendements en grains ne présentent pas de différence significative vis-à-vis des variétés et des fertilisations azotées. Par contre l'indice de récolte est plus élevé dans le cas d'une forte dose d'ammonitre et ceci pour les deux variétés.

Avec l'avènement de l'ère de l'agriculture biologique et de l'agriculture durable il est certain que nous serons amenés à limiter le recours à l'intensification à outrance et à chercher plutôt une optimisation des pratiques de la fertilisations en fonction de la variété et des apports en eau. Il est souhaitable que les résultats présentés puissent aider à répondre aux nouveaux défis.

REFERENCES

Arnon D.I. (1949). Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Plant Physiol. 24: 1-15.

Bahrini I.(2003). Impact des systèmes de culture sur la teneur en protéines du blé. PFE / INAT p : 75.

Bajji M. (1999). Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur (Triticum durum Desf) : caractérisation de cultivars différent par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de doctorat, université catholique de Louvain 188 p.

Beaux M. F., Gouet H., Gouet J.P., Morghem P., Philippeau G., Tranchefort J. et Verneau M. (1991). Manuel d'utilisation du Logiciel STATITCF. (Impri. Institut Technique des Céréales et des Fourrages, ITCF France.

Ben Salem M. (1995). Le blé dur en Tunisie. Option méditerranéenne, série A : séminaires méditerranéennes N"22 : La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne : 81-91.

Dagnelie P. (1986). Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Vol.2, p : 463. Presse Universitaire de Gembloux. Belgique.

Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. et Smith F. (1956). Colorometric method for determination of sugars and related substances. Anal.Chem. 28: 350.

Elias E.M. (1995). Durum wheat products. Option méditerranéenne, série A : séminaires méditerranéennes N"22 : La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne : 23-31, (ICARDA, CIHEAM, CIMMYT).

Gastal F. et Lemaire G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. J.Exp.Bot. 53 (370) : 789-799.

Jeffroy M.H., Ney B. et Ourry A. (2002). Integrated physiological and agronomic modeling of N capture and use within the plant. J.Exp.Bot. 53 (370): 809-823.

Lowlor D.W. (2002). Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. J.Exp.Bot. 53 (370): 773-787.

Maamouri A., Deghaies M., El Felah M. et Halila H. (1988). Les variétés de céréales recommandées en Tunisie. Documents techniques INRAT No 103.

Pang X. and Letey J. (2000). Organic farming challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. Soil Sci.Soc.Am.J. 64: 247-253.

Steel Robert G.D. (1980). Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. McGraw-Hill Book Company.

Van Delden A. (2001). Yield and growth components of potato and wheat under organic nitrogen management. Agronomy J. 93: 1370-1385.